

Los accidentes nucleares de Fukushima

lecciones y advertencias para México



Los accidentes en los reactores de la planta nuclear de Fukushima son un nuevo recordatorio, dramático, de que la tecnología nuclear para generar electricidad es intrínsecamente insegura. El meollo de la cuestión radica en la necesidad de empaquetar el combustible nuclear en un volumen pequeño para que los neutrones responsables de la fisión del uranio o el plutonio no escapen y se pierdan las condiciones de criticidad que mantienen la reacción en cadena. Se trata de una contradicción aparentemente irresoluble: alta concentración de combustible nuclear *versus* riesgo de explosiones. Desde los orígenes, en los reactores experimentales que trataron de domeñar tal contradicción, los accidentes iniciales mostraron que resolverla no iba a ser un problema de fácil solución, que cualquier intento de contención llevaba intrínsecamente la posibilidad de explosiones a corto, mediano o largo plazo.

En la historia de la tecnología se registran otras contradicciones que, sin embargo, han sido resueltas satisfactoriamente. Una de ellas, muy famosa, se

presentó en los motores térmicos del siglo XVIII en Inglaterra, cuando las operaciones contrarias de enfriamiento y calentamiento se efectuaban en el mismo objeto: el cilindro del motor térmico. El resultado era un funcionamiento de baja eficiencia, que Watt resolvió separando ambas operaciones mediante un artilugio llamado precisamente “el condensador separado”. La genialidad de Watt aumentó por un factor de tres la eficiencia del motor anterior de Newcomen, abriendo la posibilidad al diseño de motores de eficiencias aún mayores.

No obstante, en los reactores nucleares el combustible no se puede separar, pues de hacerlo se detendría la reacción en cadena y, por tanto, la generación de potencia; así que se tiene que convivir con una altísima potencia y un alto riesgo de explosiones. De hecho, la posibilidad de que éstas ocurran es tan cierta, que se pueden identificar múltiples oportunidades o cursos de acción de las partes de un reactor que conducen a ellas. Cuando estos cursos de acción catastrófica son evitables, no hay problema, es sólo una cuestión de

Marco Antonio Martínez Negrete



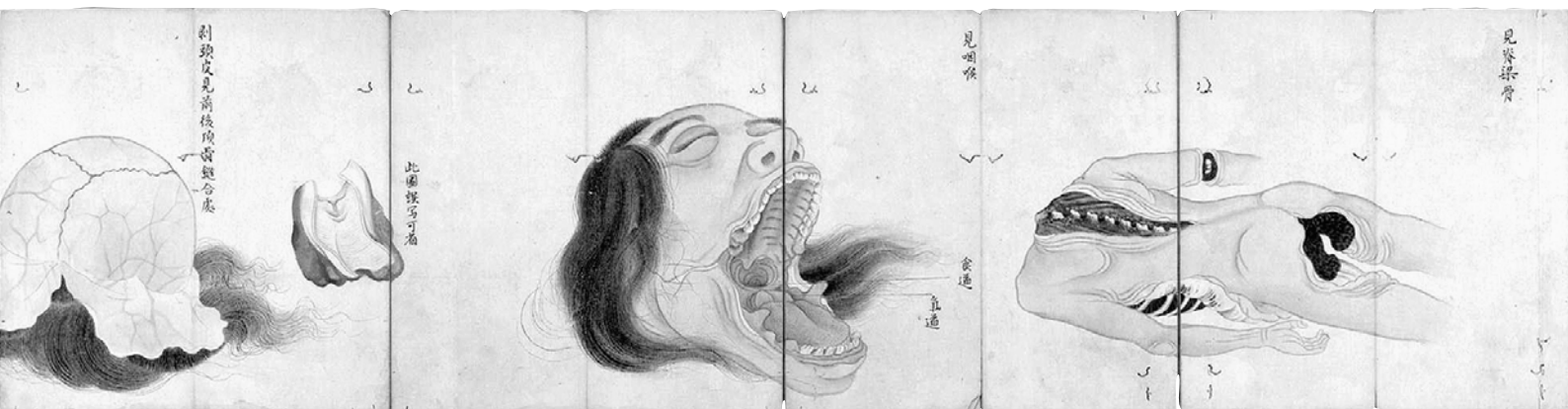
costos para evadirlas; pero si se reconocen como factibles, entonces se puede asumir que los diseños son defectuosos y se recomienda no poner a operar los reactores con esos diseños. Aun con inversiones de alto costo para tratar de evitar un accidente, se reconoce que tanto a corto como a largo plazo, el peligro no se puede eliminar.

Cuando los reactores explotan de manera catastrófica, las consecuencias suelen ser enormes en términos humanos y ambientales, no sólo en el tiempo presente sino a largo plazo. Nada más por esto, la nucleoelectricidad no es una tecnología que sea compatible con los

dentales, diseñados o construidos por grandes compañías como Westinghouse o General Electric, generan electricidad a partir de la fisión o partición de los núcleos de átomos de uranio 235 o de plutonio 239 mediante neutrones que llegan de fisiones previas. Los núcleos más pequeños, radionúcleos, resultantes de la fisión del uranio o del plutonio terminan el proceso con grandes energías cinéticas, acompañados de más neutrones, que van luego a romper otros núcleos de uranio y plutonio, y así sucesivamente. Los radionúcleos y los núcleos de que provienen están encapsulados en pastillas de combustible que,

ría, y dirigirse a una turbina de varios cientos de toneladas que, acoplada a un generador eléctrico, produce la electricidad para la que está destinada. El vapor es enfriado y recirculado hacia la parte inferior de la vasija, después de ser filtrado de impurezas radiactivas y, de este modo, se supone que el ciclo se repite.

Para impedir que los productos de la fisión escapen al ambiente, la vasija se encuentra rodeada de un contenedor de concreto de casi un metro de espesor, revestido internamente por una capa metálica, llamada contenedor primario, el cual se halla protegido por



propósitos del desarrollo sustentable, pues la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones queda negativamente comprometida.

Afortunadamente, la humanidad cuenta con opciones energéticas como las provenientes del Sol de manera directa o indirecta, que son capaces de satisfacer las necesidades de las generaciones actuales, sin comprometer las de las generaciones futuras.

Diseños defectuosos

La gran mayoría de los reactores nucleares que operan en los países occi-

debido a la gran energía que se libera por la fisión, se calientan muy rápidamente. Las pastillas, a su vez, están dentro de unas varillas de varios metros de longitud, hechas de una aleación de zirconio con aluminio, llamada zircaloy, las cuales se encuentran agrupadas en racimos, formando lo que se llama el núcleo del reactor, ubicado dentro de una vasija de hierro de varios centímetros de espesor. En los reactores diseñados por General Electric el núcleo del reactor es refrigerado por agua circulante, que llega a transformarse en vapor dentro de la vasija para salir luego por la parte superior, por una tube-

el contenedor secundario, de paredes más delgadas. En la base del contenedor primario se sitúa una alberca con la finalidad de condensar el vapor que pudiese escapar al romperse una de las tuberías ubicadas en el espacio entre la vasija y dicho contenedor primario (el llamado "accidente base de diseño", considerado por los diseñadores como lo único grave que puede suceder). En los reactores 1 a 5 de Fukushima, la alberca tiene la forma de una dona, mientras que en el reactor 6 es una alberca normal. Los dos reactores de la planta nuclear de Laguna Verde son del tipo del reactor 6 de Fukushima. En am-

bos casos es muy semejante el principio de operación para la condensación del vapor escapado en el accidente “creíble” o base de diseño.

Al conjunto de estas barreras de contención de los materiales radiactivos se le llama “defensa en profundidad”, la cual no está concebida para hacer frente a las múltiples posibilidades de accidente, ni a la fundición del núcleo —a lo que asigna un valor de probabilidad de casi cero.

En realidad, a la defensa en profundidad se la puede ver, no como un va-



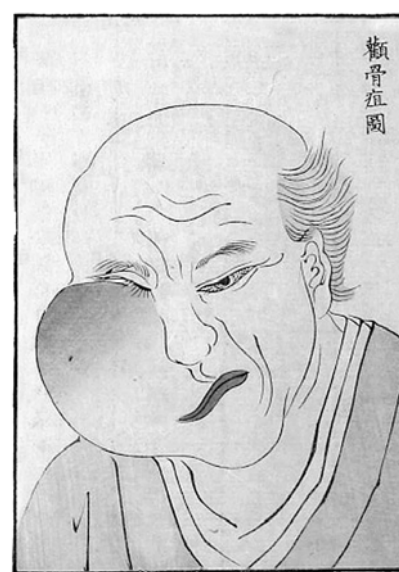
so medio lleno, sino medio vacío, pues cada uno de sus elementos se convierte eventualmente en un magnificador de accidentes. Todo lo anterior, aunado a otros errores, convierte los diseños de General Electric en auténticas bombas de tiempo. Para empezar, el que el agua hierva dentro de la vasija impide que las barras de control (que absorben neutrones y se insertan entre las barras de combustible en caso de necesidad de parar la reacción) entren por arriba apoyadas por la gravedad, por lo que tienen que ser asistidas por la ac-

ción de generadores diesel, de modo que entran de abajo hacia arriba, en contra de la gravedad. Si por alguna razón fallan estos generadores, el núcleo del reactor puede fundirse o explotar, ya que entonces no hay mecanismo para detener las fisiones. Por otra parte, cada poco más de un año se tiene que cambiar unas decenas de toneladas de combustible usado, para lo cual se insertan las barras de control, se detiene la generación de vapor y se abre la tapa superior de la vasija y se extraen las barras inútiles; éstas se llevan a un lado del reactor, hacia una alberca que, por razones de costos y no de seguridad, se sitúa no lejos, dentro del mismo edificio.

Sin embargo, los combustibles usados siguen generando calor, pues los radionúcleos, al seguir decayendo en otros, liberan energía que tiene que ser controlada, lo cual se consigue colocándolos en una alberca, que tiene que ser refrigerada continuamente durante varios años. Si el agua se pierde por cualquier causa, los combustibles pueden fundirse y emitir su contenido radiactivo al ambiente, eventualmente pueden causar criticalidad y hasta explotar nuclearmente, e incluso los combustibles calientes pueden producir explosiones de hidrógeno, originado por la interacción del zircaloy con las moléculas de agua circundantes. Es decir, no sólo el reactor puede sufrir explosiones, sino también éstas pueden ocurrir a causa del combustible usado en las albercas de desechos.

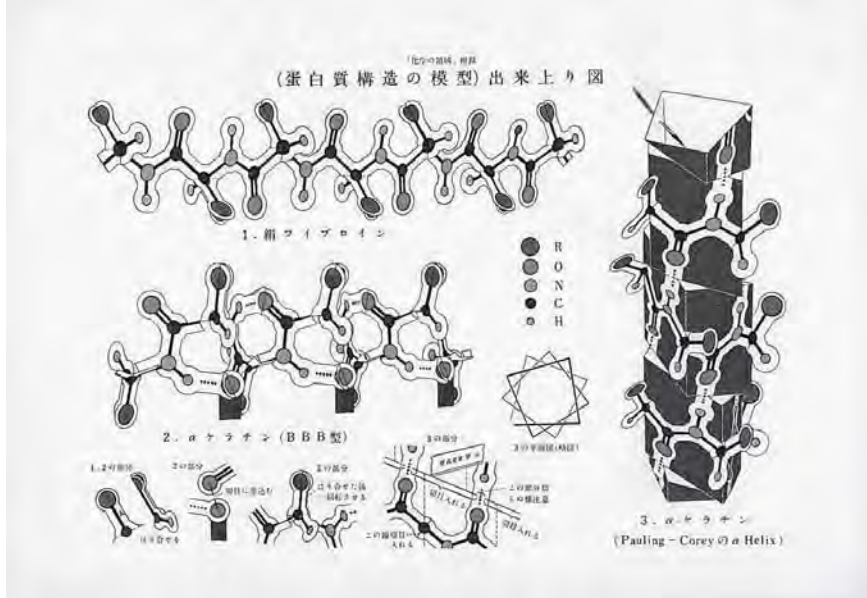
En teoría, pueden presentarse varias explosiones en los reactores por mecanismos previstos desde los primeros diseños que General Electric propuso. Se trata, pues, de diseños defectuosos. Las explosiones de hidrógeno se pueden generar cuando, al fallar los sistemas de refrigeración del núcleo

del reactor, los elementos combustibles se calientan y, cerca de mil grados Celsius, el zircaloy separa de las moléculas de agua grandes cantidades de hidrógeno, un elemento que, a partir de cierta temperatura y concentración, explota al contacto con el aire. Es claro que, mientras más pequeños sean los contenedores, más pronto se alcanza la concentración crítica de una explosión. Ahora bien, la alberca que suprime la presión se introdujo para disminuir el volumen del contenedor primario y del secundario, y así bajar los costos de



construcción. El efecto es obviamente una disminución en la seguridad global de la planta nuclear.

Por otra parte, desde que se concibió el mecanismo de condensación del vapor escapado en el accidente máximo “creíble”, se juzgó que era un mecanismo que podía fallar. Y no sólo eso, sino que en el caso de una fundición del núcleo del reactor, el agua de las albercas podría dar origen a explosiones de vapor, que afectarían la integridad de los contenedores, tanto o más que las posibles explosiones de hidrógeno.



vapor de agua también se pueden presentar.

Algunos de estos riesgos se trataron de enfrentar mediante una modificación en el diseño para que inyectara un gas inerte, como el nitrógeno, a fin de neutralizar la acción del hidrógeno, o bien, agregando un sistema de ventilación del hidrógeno hacia el exterior del reactor. Pero estos sistemas están necesariamente asistidos por otros que funcionan con electricidad, de modo que se llega al meollo de otra cuestión básica: ¿y si falta la corriente? Ah, pues entonces hay que pensar en generadores diesel de emergencia, y si estos a su vez fallan, entonces hay que contar con baterías de repuesto. El resultado es una complejidad técnica creciente y la total indefensión ante ella en caso de un “apagón”, que puede tener múltiples causas: terremotos, tsunamis, huracanes, etcétera.

Desde 1971, las instancias encargadas de lo nuclear del gobierno norte-

Una tercera posibilidad de explosiones se presenta cuando el núcleo fundido del reactor penetra hacia la parte inferior de la vasija, la funde, prosigue su camino hacia la alberca situada debajo y continúa hasta el piso del contenedor primario. La interacción del núcleo fundido con el concreto del basamento del contenedor primario generaría enormes cantidades de gases de distintos tipos, entre ellos dióxido de

carbono que, al acumularse sin límite, elevaría la presión, haciendo estallar el contenedor.

Así pues, en los reactores de agua en ebullición (BWR, por sus siglas en inglés) es posible que ocurran explosiones por tres tipos de gases: hidrógeno, vapor de agua y (entre otros) dióxido de carbono. Además, en las albercas de los desechos de combustible usado, al menos las explosiones de hidrógeno y

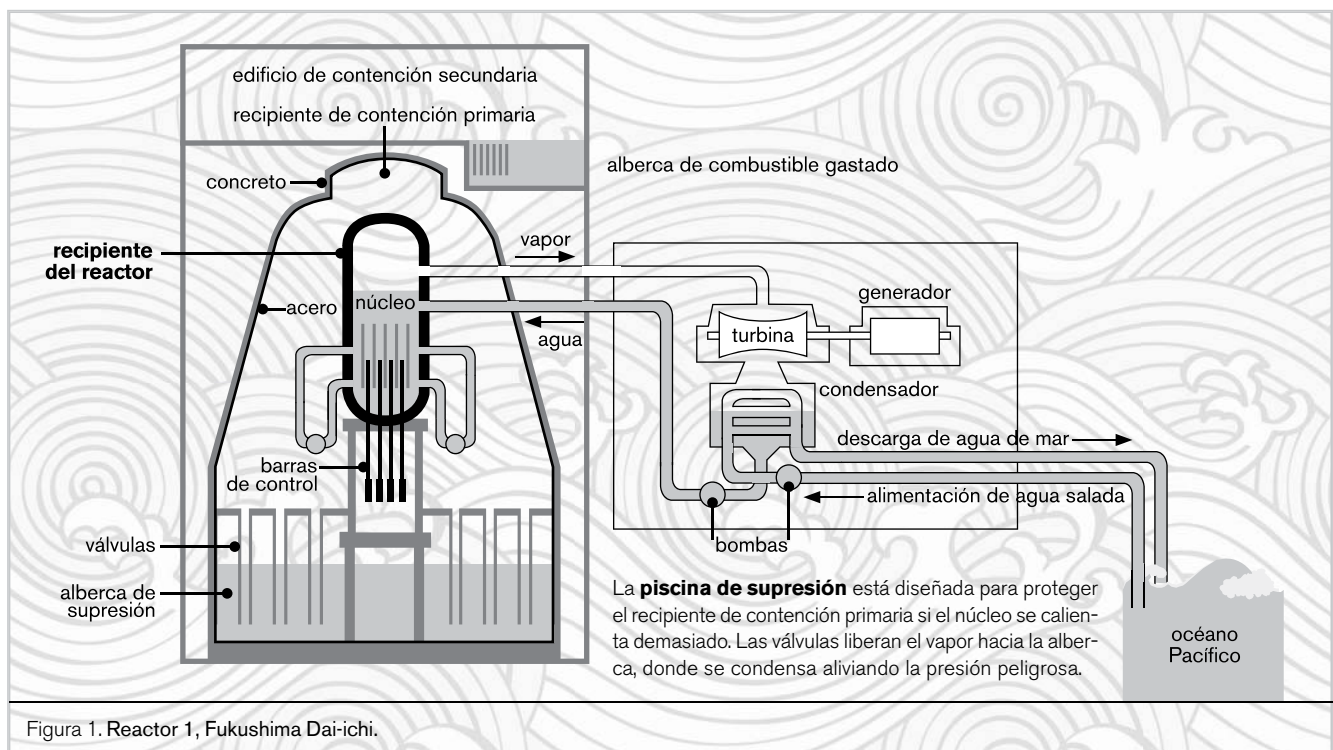


Figura 1. Reactor 1, Fukushima Dai-ichi.

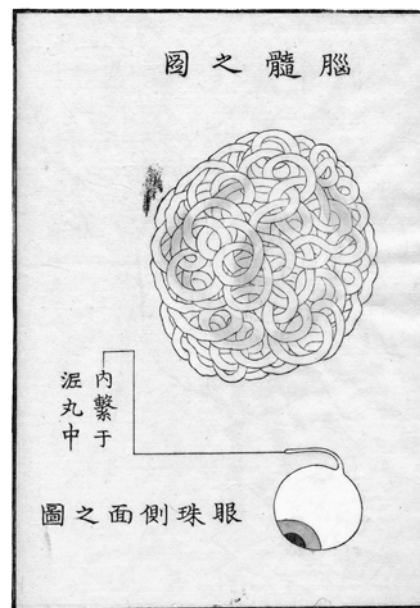
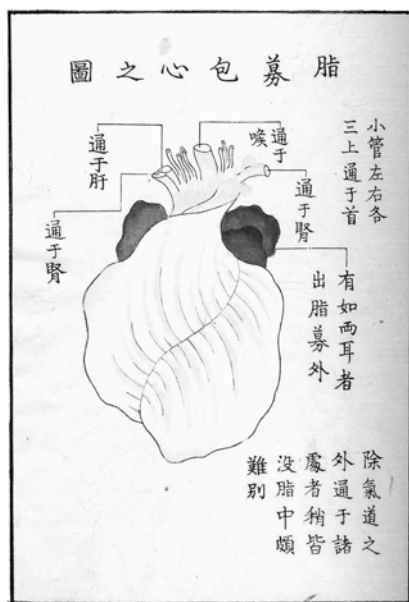
americano cuentan con registros oficiales escritos que consignan que el sistema que suprime la presión es defectuoso, tanto en los diseños de General Electric como en los de Westinghouse. Se trata de información deliberadamente ocultada a la opinión pública, obtenida posteriormente por los ambientalistas al invocar el decreto de libertad de información de ese país. En un memorando del 30 de noviembre de 1971 intitulado "Problemas de la desviación de vapor en los contenedores de supresión

públicamente. Temen que se retrasen las audiencias que ya se están llevando a cabo". En ese año se contaban por decenas las plantas nucleares que estaban en construcción así como las solicitudes de permiso para construcción. Por esto, tanto General Electric como los técnicos del gobierno decidieron ocultar la información sobre lo defectuoso de los diseños.

Más tarde, el 20 de septiembre de 1972, un técnico de la Comisión de Energía Atómica insiste en otro memorando

de un contenedor de menor tamaño diseñado con una capacidad de resistencia a la presión menor que la necesaria sin el mecanismo que suprime la supresión de presión, al no ser suficiente la resistencia a ésta, se provocaría una sobrepresión del contenedor que está diseñado de tal manera".

Más adelante, en referencia al riesgo de explosiones de hidrógeno, el técnico expresa: "debido a que los contenedores de supresión de presión son más pequeños que los contenedores



de presión de reactores de agua hirviente (BWR)", un grupo especial de revisión identifica las fallas del sistema debido a mecanismos que desviarían el vapor responsable de la sobrepresión hacia otros lugares y no a la alberca, de modo que el mecanismo no sería efectivo. En él se puede leer que: "General Electric no quiere que ni el ACRS (siglas en inglés del Comité Asesor de Salvaguardias en Reactores de la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos) ni nosotros (los miembros del grupo especial de revisión) mencionemos el problema

sobre los contenedores de supresión de la presión: "aunque esos contenedores también ofrecen algunas ventajas de seguridad, creo que en la balanza sus desventajas predominan [...] Recomendé a la Comisión de Energía Atómica que adoptara la política de desalentar en lo sucesivo el uso de contenedores de supresión de la presión y que tales diseños no fuesen aceptados en el caso de los permisos de construcción solicitados". Asimismo, en la "Discusión" se lee: "puesto que lo que se busca al suprimir la presión es permitir el uso

'secos' convencionales, el mismo volumen de hidrógeno formado en el supuesto caso de un accidente constituiría un mayor volumen o porcentaje de peso de la atmósfera de esos contenedores [es decir, la densidad alcanzada sería mayor] Consecuentemente, la generación de hidrógeno tiende a ser un problema más grave en los contenedores que suprimen la presión". Para disminuir este riesgo del hidrógeno, al sistema se le adicionó un mecanismo de inyección de nitrógeno; pero en total, el conglomerado de aditamentos só-

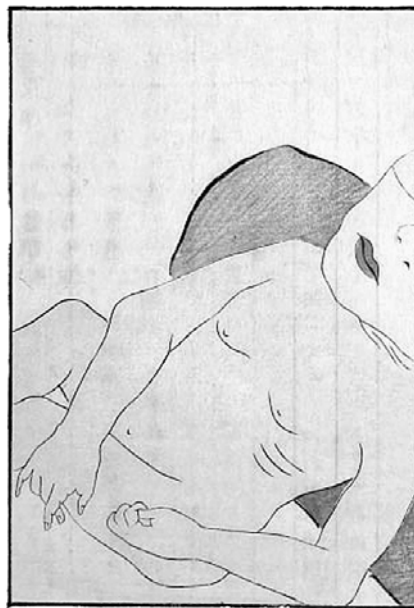
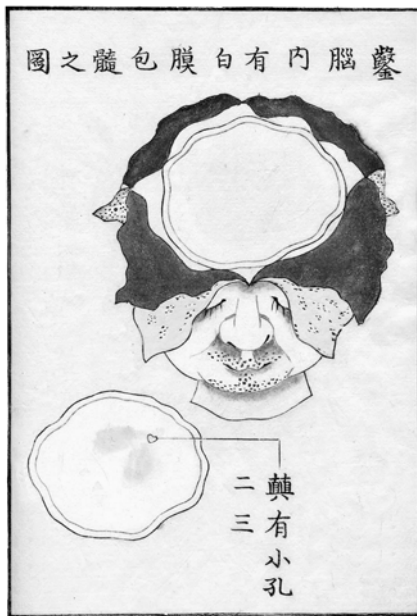
lo agregó posibilidades de otras fallas que no aumentaron la seguridad, pero sí los costos que se trataban de evitar. Por eso, concluye el técnico: “cuando se toman en cuenta los costos, no resulta evidente en modo alguno que los contenedores que suprimen la presión sean, en general, significativamente más baratos que los contenedores secos”.

En este momento quizá venga a la mente del lector los videos con las explosiones de los reactores de Fukushima, corroborando los juicios de los téc-

suprimen la presión, es atractiva en algunos sentidos. Los contenedores secos tienen la importante ventaja de la gran simplicidad para hacer frente a un escape primario y, por ello, están libres de los peligros de fuga por desviación [...] Sin embargo, los conceptos acerca de los contenedores que suprimen la presión gozan de una (gran) aceptación por parte de todos los que trabajan en el campo nuclear, incluidos los miembros del Departamento de Reglamentación de la ACRS, firmemente im-

Así que, por no hacer el alboroto y por no impedir la venta de reactores defectuosos entonces, en perjuicio de General Electric y Westinghouse pero en beneficio de la gente, esos altos funcionarios se sometieron a la presión de las compañías y jugaron con el riesgo para la población.

Más tarde, en 1974, la propia General Electric realizó un estudio detallado sobre la seguridad de los reactores que estaba vendiendo con el fin de enfrentar las nuevas reglamentaciones



nicos que previeron la catástrofe, algo que bien podrían ser, parafraseando la novela de García Márquez *Crónica de una muerte anunciada*, la “crónica de un accidente anunciado”.

Sin embargo, casi una semana después del memorando anterior, el 25 de septiembre de 1972, el alto funcionario de la Comisión de Energía Atómica, Joseph M. Hendrie, zanja la cuestión en una nota dirigida a John F. O’Leary, otro funcionario nuclear de alto rango: “respecto de la idea de Steve de prohibir los sistemas de contenedores que

plantada en el sentido común convencional [...] Dar marcha atrás en esta sagrada política, particularmente en este momento, *bien podría significar el fin de la energía nuclear* (subrayado nuestro). Pondría en tela de juicio la continuación de la operación de las plantas autorizadas, haría imposible la autorización de las plantas de condensador de hielo de General Electric y de Westinghouse que están en revisión ahora y, en general, crearía un alboroto tan grande que ni siquiera me atrevo a pensar en ello”.

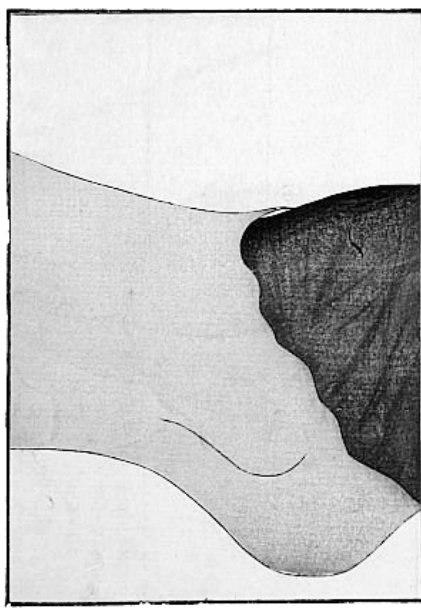
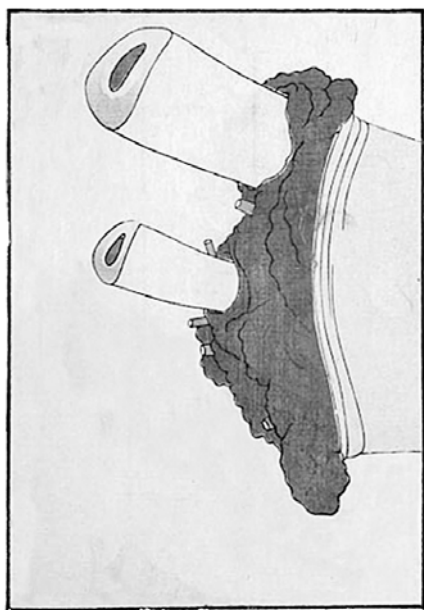
impuestas por el gobierno que implicaban costos crecientes. La conclusión de dicho estudio, conducido por Charles Reed, ingeniero de la compañía, fue que ésta no siguiera vendiendo reactores con los diseños defectuosos, porque “no eran un producto de calidad”. Dicha información fue suprimida, de modo que General Electric no la comunicó ni a la Comisión Reglamentadora Nuclear del gobierno, ni a los posibles compradores. Pero la información salió a la luz pública en 1987, durante el juicio que General Electric enfrentó a las empre-

sas eléctricas compradoras de los reactores de las plantas de Zimmer y Perry, las cuales querían que la compañía pagara los costos que implicaba “remendar” las fallas de los diseños defectuosos exigidos por el gobierno.

Es irónico que en 1987, cuando esta información fue expuesta a la opinión pública mexicana, los voceros pronucleares mexicanos respondieran en la prensa que los reactores de Laguna Verde no eran peligrosos ni obsoletos, porque precisamente los japoneses ha-

Isla de Tres Millas, y cuarenta años después explotan los contenedores de cuatro reactores de la planta nuclear de Fukushima por el hidrógeno producido en los reactores y en las albercas de desechos, así como posiblemente por las otras causas antes descritas. Para algunos, el accidente nuclear de la Isla de Tres Millas significó el fin de la energía nuclear en Estados Unidos; los accidentes de Fukushima bien pueden significar el fin de la energía nuclear en el mundo. Por tanto, el aplazamiento de la

primario como los de General Electric o Westinghouse. Pero más importante aún para los mexicanos es el hecho de que los reactores que hay en la planta nuclear de Laguna Verde son del tipo de los reactores de Fukushima, diseñados también por General Electric, y que toneladas de desechos de combustible usado se siguen acumulando en las albercas situadas en el mismo edificio de los reactores, además de que hay la intención de construir más reactores en el mismo sitio de la planta actual, y que puede haber



bían seleccionado tal tipo de reactores. Japón era el país de la alta tecnología, por antonomasia. Dado que los reactores de Fukushima fueron construidos en la década de los setentas, es posible que la compañía japonesa TEPCO (operadora de los reactores) no se percatara de que compraba diseños que General Electric sabía que eran defectuosos.

Ocho años después de los memorandos internos de la Comisión de Energía sobre lo defectuoso de esos diseños ocurre una explosión de hidrógeno en un reactor de la planta nuclear de La

decisión de no permitir la difusión de los reactores diseñados con el dispositivo que suprime la presión quizá sólo signifique el retraso del *fin de la energía nuclear*, pero se sacrificó a la población norteamericana y japonesa afectada por esos accidentes previstos.

Es relevante mencionar que el reactor de Chernobil, accidentado quince años después de los memorandos antes citados a causa de una explosión de hidrógeno, entre otras cosas, disponía también de una alberca para suprimir la presión, aunque no tenía contenedor

“apagones” por ser zona de huracanes. ¿La crónica de qué se está anunciando?

Las fuentes renovables de energía

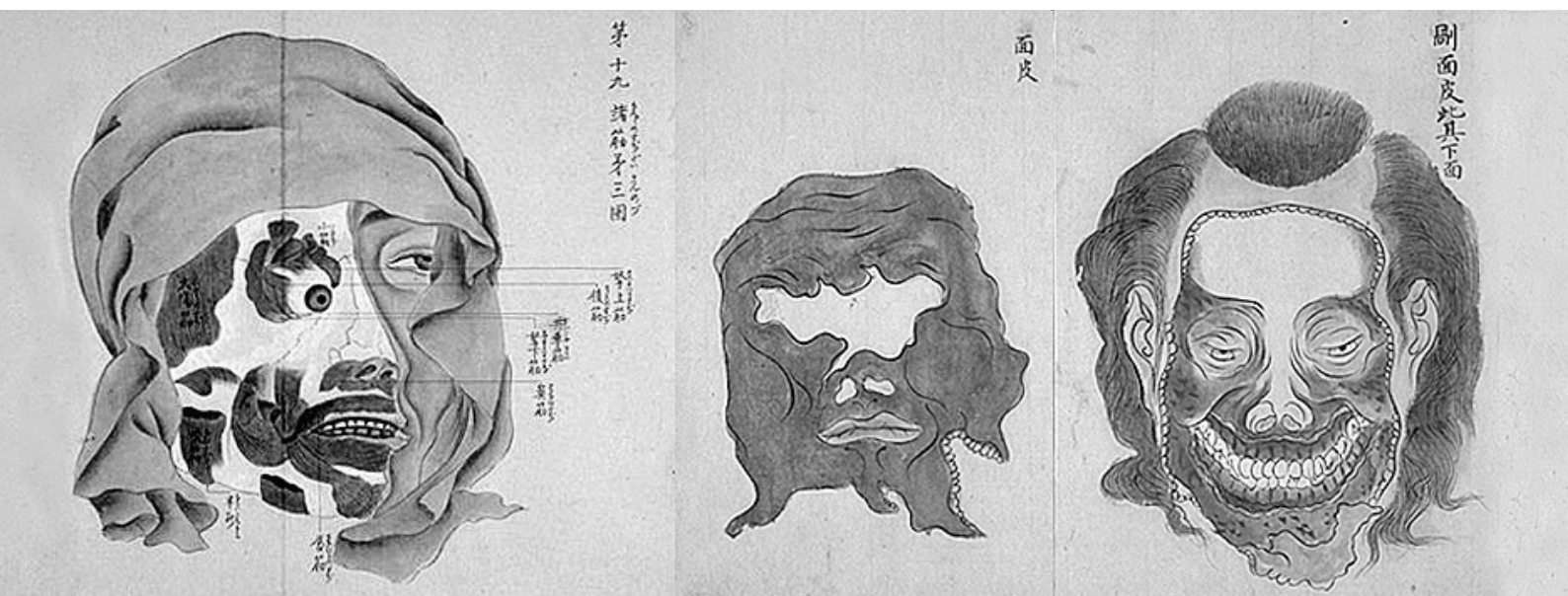
Para justificarse, la industria nuclear presenta como dilema energético actual la necesidad de escoger entre los combustibles nucleares y los combustibles fósiles con el fin de eliminar la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero. La falacia de tal dilema radica, por un lado, en que los gases producidos por la quema de combusti-

bles fósiles para generar electricidad representan menos de la cuarta parte de todas las emisiones de gases de efecto invernadero (de las cuales 77% están compuestas de CO₂), y el resto de las emisiones proviene de uso del carbón e hidrocarburos en el transporte, la industria y otros sectores, además de por el cambio en el uso del suelo y otros factores. Y por el otro, si se toman en cuenta todas las actividades del llamado “ciclo nuclear”, que comprende desde la minería hasta su “quemado” en

ca de gas natural, pero que no es de 0 gCO₂ eq./ kw-h como lo afirman con frecuencia los voceros de la industria nuclear.

Además, si fuera posible financiera y técnicamente, y hubiera reservas de uranio suficientes (tres factores que no existen) para sustituir todas las termoeléctricas por plantas nucleares, los gases de efecto invernadero sólo disminuirían en menos de una cuarta parte, pero las consecuencias serían catastróficas, pues habría la posibilidad de accidentes

Verde, que es de 1.3 gw) que tenía en 2005, a 95 gw en 2007, lo que significó un incremento de 61%; mientras que la capacidad nuclear se mantuvo en un crecimiento de prácticamente 0%. Así, el año pasado, en el mundo se habían instalado 193 gw en aerogeneradores (una tasa de 227% de aumento en el periodo que va de 2005 a 2010), 65 gw en biomasa y plantas procesadoras de desperdicios, 43 gw en energía solar térmica y 80 gw en hidroeléctricas pequeñas, lo que da un total de 381 gw; en contras-



los reactores, sin considerar el almacenamiento de los combustibles nucleares usados (para lo que todavía no hay solución viable), resulta que la nucleoelectricidad emite gases de efecto invernadero comparables a los de las gasoelectricas de ciclo combinado, esto es, aproximadamente 66 gramos de dióxido de carbono equivalentes por cada kilowatt-hora de energía eléctrica generada (gCO₂ eq./ kw-h), un valor que, efectivamente, está muy por debajo de los 960 que emite una carboeléctrica, y de los 443 de una termoeléctri-

nucleares de la gravedad de Chernobil y Fukushima cada tres o cuatro años.

La buena noticia en cuanto a este dilema es que la tasa de crecimiento en potencia instalada de las fuentes renovables de electricidad en los últimos años han sido y siguen siendo muy superiores a la de la instalación de plantas nucleares —por ejemplo, la capacidad instalada de aerogeneradores aumentó de 59 giga watts (1 gw es igual a 1 000 megawatts de potencia, lo cual corresponde casi a la potencia nominal sumada de los dos reactores de Laguna

te, la capacidad total de las nucleoelectricas fue de 375 gw. Si se agrega a las fuentes renovables la potencia instalada de las grandes hidroeléctricas, 770 gw (dato de 2005), se tendría un total superior a 1 151 gw de capacidad de generación eléctrica renovable.

Sin embargo, el verdadero dilema para los propósitos de una atmósfera más limpia y el desarrollo sustentable es entre las fuentes no renovables de generación eléctrica (combustibles fósiles y nucleares) y las fuentes renovables (las provenientes del Sol de mane-


ra directa e indirecta). En este sentido, la mala noticia es que aún falta mucho para que la generación de electricidad por medio de fuentes renovables alcance la potencia actualmente instalada en las termoeléctricas a carbón e hidrocarburos, que es de aproximadamente 4 300 GW.

El problema, además, no es simplemente el de la sustitución de las fuentes renovables de energía por las fuentes no renovables, sino el de un cambio de paradigma en la utilización de los recursos en general y de la energía en particular. No es posible sustentar una población creciente bajo el paradigma actual de un uso centralizado de los energéticos, sean renovables o no, ya que la llamada huella ecológica de la humanidad rebasa hoy día la superficie del planeta. Es imprescindible acelerar la transición a otra forma de civilización,

en donde las sociedades dependan para su supervivencia de la utilización de recursos (incluidos los energéticos) limpios y descentralizados. En este sentido, la generación de electricidad mediante renovables descentralizados nos lleva por el camino correcto, mientras la construcción de más plantas nuclea-

res (al igual que la construcción de grandes hidroeléctricas) nos aleja de él.

Por las razones anteriores, la recomendación para las instancias que toman las decisiones energéticas en México no puede ser otra que el cierre de la planta nuclear de Laguna Verde, el abandono de todo intento de instalar más plantas nucleares en nuestro país y la adopción de una estrategia agresiva en pro de las fuentes renovables de generación eléctrica y el uso eficiente de la energía y, en general, de los recursos de toda índole.

Finalmente, como las decisiones sobre los energéticos tienen indudablemente que ver con el bienestar de los habitantes del país y su ambiente, en el presente y para el futuro, tendrían que discutirse ampliamente para después poder tomar una decisión colectiva, como se ha hecho en muchos países. 



Marco Antonio Martínez Negrete

Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional Autónoma de México.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Delgado Ramos, G. C. 2009. *Sin energía. Cambio de paradigma, retos y resistencias*. Plaza y Valdés, México.
Frische, U. R. 2006. *Comparison of Greenhouse-Gas Emissions and Abatement Cost of Nuclear and Alterna-*

tive Energy Options from a Life-Cycle Perspective. Öko-Institute V. Freiburg.

Lincoln, S. F. 2006. *Challenged Earth*. Imperial College Press, Londres.

Martínez Negrete, M. A. 2009. "Energía nuclear para el cambio climático: ¿es efectiva y sin riesgo?", en *La energía en México*, Saxe-Fernández, J. (coord.), UNAM, México.

Schneider, M., A. Froggatt y S. Thomas. 2011. *Nuclear Power in a Post-Fukushima World. The World Nuclear Industry Status Report 2010-2011*. Worldwatch Institute, Washington.

Sovacool, B. 2008. "Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey", en *Energy Policy*, núm. 36, pp. 2940-2953.

IMÁGENES

P. 16: Tarjeta postal japonesa, fines del siglo XIX - principios del XX. Pp. 17-19: láminas médicas japonesas periodo Edo. P. 20: modelo alfa-hélice de una proteína, 1954. P. 21: Kaishihen, notas de disección, 1772. Pp. 22-23: Zoku Hiroku, notas en el tratamiento de crecimientos de la piel, 1859. P. 24: disecciones anatómicas del Seyakuin Kainan Taizozo, 1798.

THE FUKUSHIMA NUCLEAR ACCIDENT. LESSONS AND WARNINGS FOR MEXICO

Palabras clave: nuclear, fisión, nucleoelectricidad, potencia, desarrollo sustentable.

Key words: Nuclear, Fission, Nuclear Electricity, Power, Sustainable Development.

Resumen: El autor explica las ventajas y desventajas de la energía nuclear, así como la necesidad de encontrar fuentes de energía que favorezcan el desarrollo sustentable y al mismo tiempo satisfagan las necesidades energéticas de sociedades presentes y futuras.

Abstract: The author explains the advantages and disadvantages of nuclear power and the need to find energy sources that favor sustainable development and at the same time satisfy the energy needs of present and future societies.

Marco Antonio Martínez Negrete es Doctor en Física y profesor de tiempo completo de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Recibido el 12 de mayo de 2011, aceptado el 08 de junio de 2011.